



**DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)**

(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : G01F 1/66		A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 97/46854 (43) Date de publication internationale: 11 décembre 1997 (11.12.97)
(21) Numéro de la demande internationale:	PCT/FR97/01012	(81) Etats désignés: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Date de dépôt international:	6 juin 1997 (06.06.97)		
(30) Données relatives à la priorité:	96/07189 7 juin 1996 (07.06.96)	FR	
(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): SCHLUMBERGER INDUSTRIES S.A. [FR/FR]; 50, avenue Jean-Jaurès, F-92120 Montrouge (FR).			Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale. Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si de telles modifications sont requises.</i>
(72) Inventeurs; et			
(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): DE VANSAY, Robert [FR/FR]; 7, rue Jean-Mermoz, F-91600 Savigny-sur-Orge (FR). JUILLARD, Jérôme [FR/FR]; 31, avenue des Baumettes, F-06000 Nice (FR).			
(74) Mandataire: PETIT, Maxime; Schlumberger Industries, Direction Technique/Propriété Intellectuelle, Boîte postale 620-05, F-92542 Montrouge Cedex (FR).			
(54) Titre: METHOD FOR MEASURING A SOUND SIGNAL PROPAGATION DELAY IN A FLUID BY ZERO-CROSSING OF THE SAID SOUND SIGNAL			
(54) Titre: PROCEDE DE MESURE DU TEMPS DE PROPAGATION D'UN SIGNAL ACOUSTIQUE DANS UN FLUIDE PAR PASSAGE A ZERO DUDIT SIGNAL ACOUSTIQUE			
(57) Abstract			
The invention features a method for measuring a sound signal propagation delay between two remote transducers placed in a fluid flow, that consists in sampling and digitizing each sound signal received, in determining for each sampled and digitized period of the said signal the maximum amplitudes P- and P+ of the two lobes of the period of interest, in comparing the ratio of these amplitude to a theoretical amplitude ratio between the maximum amplitudes P <sub>i</sub> - and P <sub>i</sub> + of the two lobes of an ideal characteristic first period determining the first zero-crossing of the characteristic oscillations of the signal and, based on the result of this comparison relative to a threshold value G <sub>s</sub> , in considering the said period of interest as a characteristic period or not, and in determining the zero-crossing of this characteristic period between two lobes or not.			
(57) Abrégé			
L'invention concerne un procédé de mesure du temps de propagation d'un signal acoustique entre deux transducteurs éloignés disposés dans un écoulement de fluide, qui consiste à échantillonner et numériser chaque signal acoustique reçu, à déterminer pour chaque période dudit signal échantillonné et numérisé les amplitudes maximales P- et P+ des deux lobes de la période examinée, à comparer le rapport de ces amplitudes à un rapport d'amplitudes théorique entre les amplitudes maximales P <sub>i</sub> - et P <sub>i</sub> + des deux lobes d'une première période caractéristique idéale déterminant le premier passage par zéro des oscillations caractéristiques dudit signal et, en fonction du résultat de cette comparaison par rapport à une valeur de seuil G <sub>s</sub> , à considérer ou non ladite période examinée comme une période caractéristique et à déterminer ou non le passage par zéro entre deux lobes de cette période caractéristique.			

**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publient des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Biélorussie	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NI	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LJ	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

**Procédé de mesure du temps de propagation d'un signal acoustique dans un fluide par passage à zéro dudit signal acoustique.**

La présente invention a pour objet un procédé de mesure du temps de propagation d'un signal acoustique dans un écoulement de fluide entre un premier transducteur jouant le rôle d'émetteur et un second transducteur jouant le rôle de récepteur et situé à une distance déterminée du premier transducteur, le signal acoustique émis par le premier transducteur étant constitué par au moins une impulsion émise à une fréquence acoustique déterminée  $F_a$  et le signal acoustique reçu par le second transducteur comprenant une série d'oscillations caractéristiques dont l'amplitude est d'abord croissante sur plusieurs périodes, puis décroissante sur plusieurs périodes suivantes, l'enveloppe des oscillations caractéristiques présentant la forme d'un fuseau, le procédé consistant à échantillonner le signal acoustique reçu, à une fréquence d'échantillonnage  $F_e$ , à numériser le signal acoustique reçu échantillonné, et à rechercher, par analyse du signal acoustique reçu échantillonné et numérisé, le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu.

Il est connu depuis de nombreuses années de mesurer le débit d'un fluide (ou son volume) s'écoulant dans une conduite en utilisant la propagation des signaux acoustiques émis entre deux transducteurs acoustiques situés en des points espacés dans la direction de l'écoulement du fluide. En principe, un signal acoustique émis du premier transducteur vers le second transducteur est reçu par ce second transducteur et le temps de propagation  $T_d$  de ce signal acoustique est mesuré. De même, on mesure le temps de propagation  $T_u$  d'un signal acoustique émis du second transducteur vers le premier transducteur après réception dudit signal par ce premier transducteur.

Dans un compteur de fluide, le débit peut être obtenu en combinant une mesure des temps de propagation des deux signaux acoustiques émis entre les deux points dans des directions opposées avec une mesure des déphasages acoustiques induits dans chaque signal acoustique par la propagation de chacun des signaux acoustiques dans l'écoulement. La demande de brevet européen n° 0 426 309 décrit un exemple d'un tel système de mesure de débit, dans lequel le signal reçu est échantillonné et converti numériquement, la mesure du déphasage acoustique étant effectuée en réalisant une détection synchrone du signal numérisé.

Lors de la mesure de la vitesse d'écoulement d'un gaz dans un compteur de gaz utilisant deux transducteurs ultrasonores, il est nécessaire de mesurer le

temps de parcours de l'onde ultrasonore entre l'instant d'émission et l'instant de réception, dès lors que la célérité des ondes ultrasonores est dépendante de la nature du gaz.

On a représenté sur la Figure 2 la forme d'un signal impulsionnel rectangulaire  $S_1$  de largeur  $T$  émis à un instant  $T_0$  par un premier transducteur ultrasonore disposé dans le flux d'écoulement d'un fluide en un premier point, et la forme du signal  $S_2$  constituant la réponse impulsionnelle reçue en écho à un instant  $T_1$  par un deuxième transducteur ultrasonore disposé dans le flux d'écoulement du fluide en un deuxième point distinct du premier point.

Le signal acoustique  $S_2$  reçu par le second transducteur est constitué par une série d'oscillations caractéristiques  $O_C$  qui augmentent d'amplitude sur plusieurs périodes puis décroissent, l'enveloppe des oscillations caractéristiques présentant la forme d'un fuseau. Les oscillations caractéristiques  $O_C$  du signal  $S_2$  sont précédées et suivies d'oscillations parasites  $O_p$  de faible amplitude. Pour déterminer l'instant  $T_1$  de début des oscillations caractéristiques, il convient de repérer le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques  $O_C$  du signal acoustique reçu  $S_2$ .

On a représenté sur la Figure 3, à une échelle plus grande que sur la Figure 2, un exemple de signal acoustique  $S_2$  reçu en écho à une impulsion rectangulaire  $S_1$  émise à une fréquence acoustique déterminée  $F_a$ .

Pour déterminer le début des oscillations caractéristiques  $O_C$ , selon un procédé connu, on fixe une tension de seuil  $V_s$ , par rapport à laquelle on compare le niveau du signal acoustique reçu  $S_2$ , la comparaison s'effectuant sur un signal numérique obtenu après échantillonnage du signal acoustique analogique reçu, à une fréquence d'échantillonnage  $F_c$  qui constitue par exemple un multiple de la fréquence acoustique  $F_a$ .

Dans ce cas, on repère l'instant  $T_2$  auquel l'amplitude du signal reçu franchit la tension de seuil  $V_s$ , puis on identifie l'instant du passage à zéro précédent (ou suivant) que l'on considère comme l'instant  $T_1$  de départ des oscillations caractéristiques  $O_C$  du signal acoustique reçu  $S_2$ .

Une telle méthode de mesure peut conduire à des erreurs dès lors que les oscillations caractéristiques  $O_C$  du signal acoustique reçu  $S_2$  peuvent être plus ou moins amplifiées en fonction de la nature du gaz. Ainsi, on a représenté sur la Figure 4 une courbe  $S_{21}$  qui correspond à la forme d'un signal acoustique reçu pour de l'azote ( $N_2$ ) et une courbe  $S_{22}$  qui correspond à la forme d'un signal acoustique reçu pour un mélange de gaz carbonique et de méthane ( $CO_2/CH_4$ ). On constate que la courbe  $S_{21}$  franchit la tension de seuil  $V_s$  à un instant  $T_4$  qui

déclenche l'identification du passage à zéro précédent à un instant  $T_3$  qui est considéré à juste titre comme la marque du début des oscillations caractéristiques  $O_c$ . En revanche, on peut constater que la courbe  $S_{22}$ , qui est en phase avec la courbe  $S_{21}$ , franchit la tension de seuil  $V_s$  à un instant  $T_6$  postérieur à l'instant  $T_4$  et décalé par rapport à celui-ci de la valeur d'une période  $T_R$  du signal reçu. L'instant  $T_5$  identifié alors pour la courbe  $S_{22}$  comme le point de passage à zéro précédent immédiatement le franchissement de seuil à l'instant  $T_6$ , est alors considéré comme la marque du début des oscillations caractéristiques  $O_c$  de la courbe  $S_{22}$ . Or, comme on peut le voir sur la Figure 4, la courbe  $S_{22}$  présente un lobe négatif qui ne vient qu'affleurer la valeur de la tension de seuil  $V_s$  sans atteindre ou franchir ce seuil.

Par suite des atténuations ou amplifications du signal reçu  $S_2$ , qui varient en fonction de la nature du gaz, la méthode classique de mesure du temps du premier passage à zéro des oscillations caractéristiques du signal reçu peut engendrer une erreur de plus ou moins une période qui fait diminuer de façon significative la précision des mesures.

L'invention vise à remédier aux inconvénients précités et à permettre de diminuer la sensibilité du procédé de mesure du temps de passage à zéro d'un signal acoustique reçu, vis-à-vis des variations de formes d'onde de ce signal ainsi que vis-à-vis d'éventuelles perturbations extérieures susceptibles d'être détectées par une simple méthode de surveillance de franchissement de seuil, et qui pourraient engendrer des mesures erronées.

Ces buts sont atteints, conformément à l'invention, grâce à un procédé de mesure du temps de propagation d'un signal acoustique dans un écoulement de fluide entre un premier transducteur jouant le rôle d'émetteur et un second transducteur jouant le rôle de récepteur et situé à une distance déterminée du premier transducteur, le signal acoustique émis par le premier transducteur étant constitué par au moins une impulsion émise à une fréquence acoustique déterminée  $F_a$  et le signal acoustique reçu par le second transducteur comprenant une série d'oscillations caractéristiques dont l'amplitude est d'abord croissante sur plusieurs périodes, puis décroissante sur plusieurs périodes suivantes, l'enveloppe des oscillations caractéristiques présentant la forme d'un fuseau, le procédé consistant à échantillonner le signal acoustique reçu, à une fréquence d'échantillonnage  $F_e$ , à numériser le signal acoustique reçu échantillonné, et à rechercher, par analyse du signal acoustique reçu échantillonné et numérisé, le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu, caractérisé en ce que, pour rechercher le premier passage à zéro

significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu, on définit au préalable une première période caractéristique idéale déterminant le premier passage par zéro des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu, en caractérisant cette période idéale par un rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  entre les amplitudes maximales  $P_{i-}$  et  $P_{i+}$  des deux lobes de cette période, on détermine pour chaque période du signal acoustique reçu échantillonné et numérisé, les amplitudes maximales  $P_-$  et  $P_+$  des deux lobes de la période examinée, on compare le rapport de ces amplitudes  $P_-$  et  $P_+$  au rapport d'amplitudes théorique correspondant de la période idéale puis, si le résultat de la comparaison est supérieur à une valeur de seuil  $G_S$ , on considère la période examinée comme une période parasite correspondant à du bruit tandis que, si le résultat de la comparaison est inférieur à cette valeur de seuil  $G_S$ , on considère la période examinée comme une période caractéristique et on détermine alors le passage par zéro entre deux lobes de cette période caractéristique, lequel passage à zéro est considéré comme le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu.

Le rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  entre les amplitudes maximales  $P_{i-}$  et  $P_{i+}$  des deux lobes de ladite période idéale est déterminé au préalable à partir d'une moyenne, pour plusieurs gaz différents et à différents débits, du rapport entre les amplitudes maximales  $P_-$  et  $P_+$  de la période caractéristique observée à partir de l'enregistrement de signaux acoustiques reçus.

Le rapport d'amplitude  $\Delta$  entre les amplitudes maximales  $P_{i-}$  et  $P_{i+}$  des deux lobes de la première période caractéristique idéale d'un signal acoustique reçu est quasi constant en fonction de la nature des gaz et est indépendant d'un facteur de gain. Le choix d'un critère de comparaison basé sur ce rapport  $\Delta$  permet de diminuer très fortement la dépendance de la mesure à la nature du gaz, et donc d'améliorer la précision et la fiabilité des mesures.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, la comparaison entre le rapport des amplitudes  $P_-$  et  $P_+$  de la période examinée et le rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance  $G$  qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_S$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$35 \quad G = \left| \frac{(P_-) - \Delta (P_+)}{(P_-)} \right|$$

Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, la comparaison entre le rapport des amplitudes  $P_-$  et  $P_+$  de la période examinée et le rapport

d'amplitudes théorique  $\Delta$  correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance G qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_S$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$5 \quad G = \left| \frac{(P-) - \Delta (P+)}{(P-) - z} \right|$$

où z représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance G légèrement dépendant de l'amplitude maximale (P-) du lobe négatif de la période 10 caractéristique examinée.

Selon ce deuxième mode de réalisation, on limite les risques de pouvoir détecter des formes d'ondes ressemblant au critère de ressemblance ou gabarit G, qui seraient noyées dans du bruit.

Pour réduire encore la probabilité de détecter des périodes ressemblantes 15 de faible amplitude, selon un troisième mode de réalisation de l'invention, la comparaison entre le rapport des amplitudes P- et P+ de la période examinée et le rapport d'amplitudes théorique correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance G qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_S$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$20 \quad G = \left| \frac{(P-) - \Delta [(P+) - z']}{(P-) - z} \right|$$

où z représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance G 25 légèrement dépendant de l'amplitude maximale (P-) du lobe négatif de la période caractéristique examinée, et z' représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance G légèrement dépendant de l'amplitude maximale (P+) du lobe positif de la période caractéristique examinée.

Afin d'éviter des erreurs dans la détermination des amplitudes maximales 30 P- et P+ des deux lobes de chaque période examinée, erreurs qui peuvent être dues à un déphasage existant entre le signal acoustique reçu et le signal d'échantillonnage, on peut utiliser un algorithme d'approximation du maximum (en valeur absolue) à partir des points échantillonnes au voisinage de chaque maximum en vue d'obtenir une meilleure précision sur les valeurs P- et P+.

35 - Toujours pour éviter ces mêmes erreurs, lorsque le signal acoustique reçu est répétable, on effectue plusieurs mesures successives respectivement sur plusieurs signaux acoustiques consécutifs, en déphasant pour chaque signal acoustique le

signal d'échantillonnage par rapport au signal acoustique considéré, afin d'obtenir plusieurs points échantillonnés décalés au voisinage du maximum.

Selon une variante de réalisation permettant également de réduire la probabilité de détecter des périodes ressemblantes de faible amplitude, on 5 effectue, pour chaque période examinée, deux ou trois calculs du critère de ressemblance G avec des valeurs du rapport d'amplitudes théorique différentes voisines du rapport d'amplitude théorique prédéterminé et ne s'écartant pas de celle-ci de plus de 10%, et l'on considère la période examinée comme une période caractéristique si le critère de ressemblance calculé G est dans tous les cas 10 inférieur à la valeur de seuil  $G_S$ .

Pour déterminer la valeur de seuil  $G_S$  du critère de ressemblance G, ainsi que la valeur du terme de décalage z, on trace au préalable, pour différents gaz et différents débits, en faisant varier le déphasage entre la fréquence d'échantillonnage  $F_e$  et le signal acoustique reçu et en appliquant un facteur de 15 gain variant entre 0,45 et 1,5, un réseau de premières courbes représentant les valeurs maximums du critère de ressemblance G pour les périodes caractéristiques observées et un réseau de deuxièmes courbes représentant les valeurs minimums du critère de ressemblance G pour les périodes parasites observées, en fonction de différentes valeurs possibles du terme de décalage z, et on choisit la valeur de seuil  $G_S$  et celle du terme de décalage z en fonction de la marge de sécurité 20 possible dans la zone intermédiaire entre le réseau de premières courbes et le réseau de deuxièmes courbes.

A titre d'exemple, la valeur de seuil  $G_S$  peut être comprise entre 0,7 et 1,7 et la valeur du terme de décalage z peut être comprise entre 0,21 et 0,25 V.

25 L'invention est avantageusement applicable à un procédé de mesure de la vitesse d'écoulement d'un fluide entre deux transducteurs disposés en des points de mesure espacés dans la direction d'un écoulement du fluide selon lequel la valeur de la vitesse d'écoulement à mesurer est obtenue en combinant une mesure des temps de propagation respectifs de chacun des deux signaux acoustiques émis 30 entre les deux points dans des sens opposés par les transducteurs avec une mesure des déphasages acoustiques respectivement induits dans chaque signal acoustique par la propagation de chacun desdits signaux acoustiques dans l'écoulement, la mesure des temps de propagation respectifs de chacun des deux signaux 35 acoustiques émis entre les deux points de mesure étant effectuée conformément au procédé selon la présente invention.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante de modes particuliers de réalisation, faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Figure 1 est une représentation, sous la forme d'un schéma-bloc, de l'ensemble d'un dispositif de comptage de gaz connu auquel est applicable la présente invention ;
- la Figure 2 est un diagramme montrant le principe d'une méthode connue de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique dans un milieu fluide ;
- 10 - la Figure 3 est un diagramme agrandi d'une partie de la Figure 2 montrant le principe d'une méthode connue de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique par comparaison du signal reçu avec une valeur de seuil ;
- la Figure 3a est un diagramme analogue à celui de la Figure 3
- 15 montrant la façon dont on opère sur un signal échantillonné, selon une méthode connue de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique par passage à zéro ;
- la Figure 4 est un ensemble de deux diagrammes analogues à celui de la Figure 3 montrant les risques d'erreur dans une méthode connue de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique faisant appel à une comparaison des signaux reçus avec une valeur de seuil ;
- la Figure 5 est un diagramme montrant le principe de mise en oeuvre du procédé selon l'invention pour la détermination du temps de propagation d'un signal acoustique dans un milieu fluide ; et
- 20 - la Figure 6 est un diagramme comportant des familles de courbes permettant de choisir des valeurs de paramètres utiles pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.
- la Figure 7 est un organigramme montrant un exemple des différentes étapes du procédé selon l'invention.

30 Différents types de circuits électroniques peuvent être utilisés pour assurer un comptage de fluide par une méthode de mesure à ultrasons de la vitesse d'écoulement du fluide. La Figure 1 montre le schéma de principe d'un exemple de tels circuits électroniques qui sont associés à deux transducteurs ultrasonores 1, 2 disposés à distance l'un de l'autre dans une conduite 3 dans laquelle s'écoule un

35 fluide tel qu'un gaz. Les deux transducteurs 1, 2 sont reliés à un bloc de commutation 4 qui comprend deux commutateurs 5, 6 et permet l'utilisation de chaque transducteur alternativement comme émetteur et récepteur. Un module

d'émission 14 et un module de réception 17 sont reliés respectivement aux commutateurs 5, 6 du bloc de commutation 4. Le module d'émission 14 comprend un amplificateur opérationnel 16 et un convertisseur numérique-analogique 15. Le module de réception 17 comprend au moins un amplificateur 18 et un convertisseur analogique-numérique 19 qui numérise et échantillonne simultanément le signal reçu. Une source d'énergie électrique 7 et un module 8 de gestion de l'alimentation électrique sont reliés notamment aux modules d'émission 14 et de réception 17 ainsi qu'au bloc de commutation 4 et à un microcontrôleur 10. Le microcontrôleur 10 comprend notamment une horloge à quartz 9, une unité arithmétique et logique, des circuits de mémoire vive et de mémoire morte, et peut coopérer avec des circuits d'affichage 13, une mémoire morte réinscriptible 12 et une liaison série 11 du type RS 232.

Les compteurs de gaz destinés à équiper chaque abonné d'un réseau de distribution doivent être à la fois précis, fiables et le meilleur marché possible. Ces contraintes imposent d'éviter l'utilisation de composants coûteux, de mettre en œuvre de petites piles d'alimentation de longue durée mais de capacité moyenne pour des raisons de sécurité et d'effectuer des calculs selon un procédé de mesure assurant à la fois une précision et une fiabilité élevées tout en restant suffisamment simple pour être économique en énergie.

Le procédé de mesure selon l'invention qui sera explicité plus loin est ainsi avantageusement appliqué à un dispositif de mesure de la vitesse d'écoulement d'un fluide gazeux, permettant d'assurer le comptage de la consommation de ce fluide, en mettant en œuvre deux transducteurs ultrasonores disposés à distance l'un de l'autre à l'intérieur d'une conduite, dans le sens d'écoulement du fluide. A titre d'exemple, les transducteurs ultrasonores peuvent fonctionner à une fréquence acoustique  $F_a$  de l'ordre de 40 kHz et la fréquence d'échantillonnage  $F_e$  des signaux acoustiques reçus est avantageusement de 320 kHz, c'est-à-dire huit fois plus élevée que la fréquence  $F_a$ .

La fréquence d'échantillonnage  $F_e$  est avantageusement égale à un multiple de la fréquence acoustique  $F_a$ . Toutefois, la fréquence  $F_e$  peut également prendre d'autres valeurs. Lorsque les valeurs (multiples de  $F_a$  ou non multiples) de  $F_e$  sont trop basses, il est préférable d'utiliser par exemple un algorithme d'approximation au voisinage du maximum (en valeur absolue) de chaque période du signal acoustique, voire d'effectuer plusieurs mesures successives en déphasant à chaque nouvelle mesure le signal d'échantillonnage par rapport au signal acoustique considéré, ceci afin d'obtenir une plus grande précision sur les valeurs

des amplitudes maximales (en valeur absolue). Ces méthodes seront détaillées ultérieurement.

Lorsque les valeurs de  $F_e$  sont suffisamment élevées l'emploi de telles méthodes n'est pas nécessaire.

5 Le signal acoustique émis par chaque transducteur est constitué par exemple par une impulsion émise à la fréquence acoustique déterminée  $F_a$ . Cette impulsion est par exemple rectangulaire.

Plusieurs impulsions pourraient également être émises.

10 D'une manière générale, le débit de fluide dans une conduite peut s'écrire :

$$\Phi = (SL/2) (Tu - Td) / Tu.Td$$

où

15 S désigne la section moyenne de passage offerte à l'écoulement entre les deux transducteurs acoustiques,

L désigne la distance séparant les transducteurs,

Td est le temps de propagation du signal acoustique émis dans le sens de l'écoulement par le premier transducteur (amont) jusqu'à la réception de ce signal acoustique par le second transducteur (aval),

20 Tu est le temps de propagation du signal acoustique émis dans le sens contraire de l'écoulement par le second transducteur, jusqu'à la réception de ce signal acoustique par le premier transducteur (amont).

Si la mesure de ce débit fait en outre intervenir une mesure des déphasages acoustiques induits dans chaque signal acoustique par la propagation de chacun des signaux acoustiques émis par les transducteurs dans l'écoulement, le débit de fluide dans une conduite peut s'écrire :

$$\Phi = (SL / 4\pi Fa) (2\pi [Fa (Tu - Td)] + (\varphi_d - \varphi_u)) / Tu.Td$$

30

où S, L, Td, Tu ont la signification indiquée ci-dessus, et  $\varphi_d$  et  $\varphi_u$  représentent respectivement les déphasages acoustiques induits dans chacun des signaux acoustiques en raison de la propagation de ces signaux et Fa représente la fréquence desdits signaux acoustiques.

35 De façon plus particulière, les temps de propagation Tu et Td peuvent s'écrire respectivement :

$$Tu = L / (c-v)$$

$$Td = L / (c+v)$$

où c et v représentent respectivement la vitesse de propagation du signal acoustique et la vitesse du gaz.

Pour une composition de gaz donnée, comme la vitesse de propagation c dépend principalement de la température qui varie peu lors des mesures de débit, le terme  $Tu \cdot Td$  lui aussi varie peu et ce terme peut être recalculé avec une fréquence relativement faible. Toutefois, dès lors qu'il s'agit de la mesure absolue des temps de propagation, la précision obtenue pour cette mesure est directement reportée sur la précision de mesure du débit. Ainsi, il est essentiel d'éviter d'avoir un décalage sur cette mesure.

Par exemple, si la précision recherchée sur le débit est de 1%, la précision sur la mesure des temps de propagation doit être voisine de 0,5%, ce qui correspond à une erreur inférieure à 2  $\mu$ s sur les temps de propagation avec les gaz courants et les longueurs usuelles L entre deux transducteurs (exemple : L = 150 mm et le gaz étant du méthane).

Selon un procédé de mesure des temps de propagation  $Tu$  et  $Td$ , connu sous le nom de méthode de passage à zéro, on mesure les temps de propagation ( $Tu_{pz}$ ) et ( $Td_{pz}$ ) des signaux acoustiques émis par chacun des transducteurs jusqu'à la détection par passage à zéro et on en déduit les temps de propagation réels  $Tu$  et  $Td$ , avec  $Tu = (Tu_{pz} - To)$  et  $Td = (Td_{pz} - To)$  où  $To$  désigne une constante à retrancher pour obtenir le temps de propagation dans le gaz,  $To$  ne dépendant que de la nature des transducteurs et des circuits électroniques.

La Figure 3a illustre la méthode de mesure par passage à zéro effectuée sur chaque signal ultrasonore reçu selon un procédé connu, en liaison avec un dispositif tel que celui de la Figure 1.

Le signal reçu est amplifié par l'amplificateur 18 présentant un gain donné, puis converti en numérique et échantillonné simultanément dans le convertisseur 19. Dans l'exemple considéré, l'échantillonnage est effectué à une fréquence  $F_e$  par exemple égale à 8  $F_a$ , soit 320 kHz si  $F_a$  vaut 40 kHz.

Les instructions permettant d'effectuer les mesures, contenues dans une mémoire morte du microcontrôleur 10, permettent de comparer les valeurs de l'amplitude du signal reçu aux points échantillonés et qui sont mémorisées dans une mémoire vive, à une valeur prédéterminée correspondant à un seuil  $V_s$ , et l'on recherche parmi les valeurs d'amplitude des points échantillonés le premier point suivant A, qui a une valeur d'amplitude supérieure au seuil.

A partir de ce point, on recherche le prochain passage par zéro de la courbe représentative du signal ultrasonore. Pour ce faire, on détermine deux

points échantillonnés consécutifs B et C qui encadrent le point où l'amplitude de la courbe passe par la valeur zéro et l'on procède par interpolation linéaire entre B et C pour déterminer le point D et donc mesurer le temps de passage à zéro Tpz.

5 Selon une variante de réalisation, illustrée sur les Figures 3 et 4 discutées précédemment, il est également possible de rechercher le dernier passage à zéro de la courbe représentative du signal ultrasonore avant que ladite courbe ne passe par le seuil.

La présente invention vise à améliorer cette méthode de détermination d'un temps de propagation de signal par mesure du temps de passage à zéro.

10 Comme on l'a mentionné précédemment en référence aux Figures 3 et 4, la simple comparaison entre les valeurs d'amplitude de tension aux points échantillonnés d'un signal acoustique reçu et une valeur de tension de seuil  $V_s$  peut conduire à des erreurs dans la détermination du temps de passage à zéro Tpz et donc dans le temps de propagation du signal acoustique. Si sur la Figure 4 le 15 temps de passage à zéro  $T_3$  pour la courbe  $S_{21}$  relative au signal correspondant à un gaz constitué par de l'azote est correct, en revanche le temps de passage à zéro  $T_5$  pour la courbe  $S_{22}$  relative au signal correspondant à un gaz constitué par un mélange de dioxyde de carbone et de méthane, est incorrect et excessif.

20 Le procédé selon l'invention permet d'éviter ce genre d'erreur et, d'une manière générale, de réduire la sensibilité du procédé de mesure du temps de passage à zéro à des variations de formes d'onde ainsi qu'à des éventuelles perturbations extérieures qui, si elles étaient détectées, engendreraient des erreurs de mesure.

25 Selon l'invention, pour rechercher le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques  $O_c$  du signal acoustique reçu  $S_2$ , on définit au préalable une première période caractéristique idéale, distincte des oscillations parasites de faible amplitude constituant du bruit, qui détermine le premier passage à zéro des oscillations caractéristiques  $O_c$  du signal reçu  $S_2$ . Cette période idéale est caractérisée par un rapport d'amplitude  $\Delta$  entre les amplitudes des 30 valeurs maximales  $P_i-$  et  $P_i+$  des lobes négatif et positif de cette période idéale.

Lors de la réception d'un signal acoustique  $S_2$  à analyser, qui est échantillonné et numérisé de façon classique, on détermine, pour chaque période du signal acoustique reçu échantillonné et numérisé, les amplitudes des valeurs 35 maximales  $P_-$  et  $P_+$  des lobes négatif et positif de la période examinée. Pour cela, il n'est pas nécessaire d'examiner l'ensemble des points échantillonnés de la période, et la détermination des valeurs maximales (en valeur absolue)  $P_-$  et  $P_+$

des lobes négatif et positif de la période examinée peut être faite par une recherche au simple voisinage de ces extrêmes.

Cependant, il faut noter qu'il existe un déphasage entre le signal acoustique reçu et le signal d'échantillonnage.

5 Ainsi, en fonction du déphasage existant, le point échantilloné représentera de façon plus ou moins fidèle les valeurs maximales (en valeur absolue) P- et P+ des lobes négatif et positif.

Pour remédier à ce problème, il est possible d'utiliser un algorithme d'approximation du maximum (en valeur absolue) à partir des points échantillonés au voisinage du maximum afin d'obtenir une estimation de la valeur réelle de ce maximum quel que soit le déphasage existant entre le signal acoustique reçu et le signal d'échantillonnage.

Par exemple, on peut utiliser un algorithme d'approximation polynomiale connu en soi.

15 Le problème précédemment évoqué pourrait également être résolu en augmentant la fréquence d'échantillonnage.

Toutefois, lorsque le procédé selon l'invention est mis en oeuvre dans un compteur de fluide qui fonctionne sur piles, il est essentiel de réduire le plus possible la consommation énergétique du procédé et cette exigence n'est pas compatible avec une augmentation de la fréquence d'échantillonnage.

En outre, une fréquence d'échantillonnage élevée nécessite l'emploi d'une horloge plus coûteuse.

Une solution intéressante pour résoudre le problème susvisé en respectant les contraintes de consommation énergétique et de coût consisterait (lorsque le signal acoustique est répétable au cours du temps sur plusieurs mesures successives) à effectuer plusieurs mesures successives respectivement sur plusieurs signaux acoustiques consécutifs émis dans le même sens de propagation en déphasant le signal d'échantillonnage par rapport au signal acoustique lorsque l'on effectue une nouvelle mesure, afin d'obtenir après ces différentes mesures plusieurs points échantillonés décalés au voisinage des amplitudes maximales P- et P+ des lobes négatifs et positifs.

Par exemple, la première mesure est effectuée en échantillonnant normalement le signal acoustique reçu, puis la seconde mesure est effectuée sur le second signal acoustique en déphasant le signal d'échantillonnage par rapport au second signal acoustique d'une valeur déterminée  $1/2F_e$ .

Il est ainsi possible d'effectuer plusieurs déphasages successifs (de valeur  $1/nF_e$  pour n déphasages) sur le deuxième signal acoustique et les signaux

acoustiques suivants pour obtenir davantage de points échantillonnés au voisinage des maxima et ainsi avoir une précision encore plus grande sur ces amplitudes maximales P- et P+.

Il est également avantageux de combiner l'utilisation d'un algorithme 5 d'approximation du maximum (en valeur absolue) avec cette solution afin d'accroître davantage encore la précision.

On procède ensuite à une comparaison du rapport de ces amplitudes des valeurs maximales P- et P+ au rapport  $\Delta$  correspondant de la période idéale.

Si le résultat de la comparaison est supérieur à une valeur de seuil  $G_s$ , on 10 considère la période examinée comme une période parasite correspondant à du bruit, et on continue l'analyse sur la période suivante.

Si le résultat de la comparaison est inférieur à la valeur de seuil  $G_s$ , on considère la période examinée comme une période caractéristique.

On peut alors déterminer de façon fiable le passage par zéro associé à 15 cette période examinée. Ce passage par zéro considéré comme le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu peut être avantageusement le passage par zéro situé entre les deux lobes positif et négatif de la période caractéristique.

La Figure 5 montre une première oscillation caractéristique  $O_{ca}$  de 20 période  $\Delta T$  avec un lobe positif dont l'amplitude présente une valeur maximale  $P_+$  et un lobe négatif dont l'amplitude présente une valeur maximale en valeur absolue  $P_-$ . Le passage à zéro associé à cette période  $\Delta T$  d'une première oscillation caractéristique  $O_{ca}$  définit un temps de passage à zéro correspondant à un temps  $T_7$ .

25 Le rapport d'amplitude entre les amplitudes des valeurs maximales  $P_-$  et  $P_+$  des deux lobes d'une période examinée du signal acoustique reçu constitue un critère de comparaison indépendant de la nature du gaz. Ainsi, le vieillissement de l'électronique peut entraîner des variations de gain qui n'affecteront pas ce rapport d'amplitude entre les amplitudes maximales  $P_-$  et  $P_+$ . La reconnaissance de forme 30 du signal acoustique reçu peut ainsi s'effectuer d'une façon simple, qui limite la consommation d'énergie, puisque la comparaison s'effectue entre les seules amplitudes maximales  $P_-$  et  $P_+$  des lobes et un rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  entre les amplitudes maximales  $P_i-$  et  $P_i+$  des deux lobes d'une période caractéristique idéale.

35 Le rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  est déterminé au préalable à partir d'une moyenne, pour plusieurs gaz différents et à différents débits, du rapport

entre les amplitudes maximales  $P_-$  et  $P_+$  de la période caractéristique observée à partir de l'enregistrement de signaux acoustiques reçus.

Selon un mode particulier de réalisation, la comparaison entre le rapport des amplitudes  $P_-$  et  $P_+$  de la période examinée et le rapport d'amplitude correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance  $G$  qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_S$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$10 \quad G = \left| \frac{(P_-) - \Delta}{(P_-)} \right|$$

Le fait d'effectuer des comparaisons en prenant en compte des rapports d'amplitudes maximales des lobes d'une période du signal acoustique reçu, le rapport d'amplitudes théorique de référence  $\Delta$  n'est pas affecté par la nature du gaz ou le gain de la chaîne d'amplification du signal reçu. Ceci contribue à faciliter les mesures.

Toutefois, il pourrait se trouver, parmi les périodes parasites du signal qui constituent du bruit, des formes d'ondes ressemblantes à celle définie par le critère de comparaison  $G$ . Pour rendre la détection des périodes caractéristiques moins sensible au risque de prendre en compte des formes d'ondes ressemblantes noyées dans du bruit et qui ne constituaient pas une première période  $O_{ca}$  des oscillations caractéristiques  $O_C$  du signal reçu, le critère de ressemblance peut être rendu légèrement dépendant de l'amplitude  $P_-$ .

Ainsi, selon un autre mode de réalisation particulier, a comparaison entre le rapport des amplitudes  $P_-$  et  $P_+$  de la période examinée et le rapport d'amplitudes correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance  $G$  qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_S$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$30 \quad G = \left| \frac{(P_-) - \Delta}{(P_-) - z} \right|$$

où  $z$  représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance  $G$  légèrement dépendant de l'amplitude de la valeur maximale  $(P_-)$  du lobe négatif de la période caractéristique examinée.

35 Dans ce cas, le dénominateur du critère  $G$  est fortement diminué quand l'amplitude  $P_-$  est voisine du terme de décalage  $z$ . Si le terme de décalage  $z$  présente une valeur légèrement supérieure à l'amplitude maximale du bruit (par exemple de l'ordre de 0,20 à 0,25 Volt), ceci permet d'effectuer plus rapidement une réjection des périodes parasites du signal reçu.

Pour déterminer la valeur de  $G_s$  à laquelle doit être comparé le critère de ressemblance  $G$ , et la valeur du terme de décalage  $z$ , on trace un réseau de premières courbes représentant les valeurs maximum du critère de ressemblance  $G$  pour les périodes caractéristiques observées et un réseau de deuxièmes courbes 5 représentant les valeurs minimum du critère de ressemblance  $G$  pour les périodes parasites observées, en fonction de différentes valeurs possibles du terme de décalage  $z$ , et on choisit la valeur de seuil  $G_s$  et celle du terme de décalage  $z$ , et on choisit la valeur de seuil  $G_s$  et celle du terme de décalage  $z$  en fonction de la marge de sécurité possible dans la zone intermédiaire entre le réseau de premières 10 courbes et le réseau de deuxièmes courbes.

A titre d'exemple, les familles de courbes 111 et 121 de la Figure 6 ont été obtenues en faisant varier le déphasage entre la fréquence d'échantillonnage et le signal et en appliquant un facteur de gain variant entre 0,45 et 1,5, les gaz pris en compte étant le méthane et un mélange de 20% de gaz carbonique et de 80% 15 d'azote, les mesures ayant été faites à débit nul et à  $7\text{m}^3/\text{heure}$ .

Les réseaux de courbes 111 et 121 permettent de choisir les valeurs du terme de décalage  $z$  et de la valeur de seuil  $G_s$  en fonction de la marge de sécurité voulue sur ces valeurs. Si l'on considère la Figure 6, on voit que l'on peut choisir pour  $G_s$  par exemple une valeur comprise entre environ 0,7 et 1,7 V et, pour le 20 terme de décalage  $z$ , par exemple une valeur comprise entre 0,21 et 0,25 V.

Si l'on choisit par exemple  $G_s = 2$  et  $z = 0,22$  V; la marge de sécurité sur  $z$  est comprise entre 0,20 et 0,25 V tandis que la marge de sécurité pour  $G_s$  est comprise entre 1 et 4. En pratique, avec cet exemple, une période examinée sera considérée comme caractéristique si  $G < G_s = 1,5$ .

25 D'autres variantes de réalisation permettent d'accroître encore la sécurité et la fiabilité du procédé.

Ainsi, selon un mode de réalisation particulier, la comparaison entre le rapport des amplitudes  $P-$  et  $P+$  de la période examinée et le rapport d'amplitudes correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de 30 ressemblance  $G$  qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_s$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$G = \left| \frac{(P-) - \Delta [(P+) - z']}{(P-) - z} \right|$$

où  $z$  représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance  $G$  légèrement dépendant de l'amplitude de la valeur maximale ( $P-$ ) du lobe négatif de

la période caractéristique examinée, et  $z'$  représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance  $G$  légèrement dépendant de l'amplitude de la valeur maximale ( $P+$ ) du lobe positif de la période caractéristique examinée.

Ceci permet de réduire la sensibilité à des périodes ressemblantes de 5 faible amplitude et, sans augmenter sensiblement la complexité des calculs, de pouvoir diminuer le gain de la chaîne d'amplification jusqu'à des valeurs aussi faibles que 0,35, ce qui économise de l'énergie.

Selon une autre variante, et quelle que soit la formule choisie pour le 10 critère de ressemblance  $G$ , on effectue, pour chaque période examinée, deux ou trois calculs du critère de ressemblance  $G$  avec des valeurs du rapport d'amplitudes  $\Delta$  différentes voisines du rapport d'amplitude théorique prédéterminé et ne s'écartant pas de celle-ci de plus de 10%, en ce que l'on considère la période examinée comme une période caractéristique si le critère de ressemblance calculé  $G$  est dans tous les cas inférieur à la valeur de seuil  $G_s$ .

15 La Figure 7 est un organigramme montrant un exemple de processus de mise en œuvre du procédé selon l'invention.

Si l'on considère un échantillonnage à une fréquence  $F_e$ , par exemple de 320 kHz, qui représente huit fois la fréquence acoustique  $F_a$  des transducteurs, le signal échantillonné comportera 8 points par période du signal reçu.

20 Dans la mesure où le signal acoustique reçu présente la forme d'oscillations périodiques, on sait où se trouvent les minimums et maximums successifs, ce qui évite d'examiner l'ensemble des points échantillonnés.

On commence donc, après la phase d'initialisation 201, à chercher au 25 cours d'une étape 202, le prochain minimum local (d'amplitude  $P_-$ ). Au cours de cette étape 202, si l'on applique un critère de ressemblance  $G$  faisant intervenir un terme de décalage  $z$ , on ne retient que le premier minimum local dont l'amplitude  $P_-$  est supérieure en valeur absolue au terme de décalage  $z$ . Quant ce premier minimum local a été trouvé, on passe à l'étape 203 qui consiste à chercher au voisinage d'une demi-période  $T/2$  précédente, la valeur de l'amplitude maximale 30  $P_+$ .

A l'étape suivante 204, on calcule la valeur du critère de ressemblance  $G$  avec les valeurs précédemment trouvées du minimum  $P_-$  et du maximum  $P_+$  de la période examinée qui présente au moins un minimum dont la valeur absolue est supérieure au terme de décalage  $z$ .

35 A l'étape 205, on effectue un test de comparaison entre la valeur du critère  $G$  calculée et la valeur de seuil  $G_s$ .

Si  $G \geq G_s$  pour la période examinée, on considère qu'il s'agit d'une période parasite, et il y a retour à l'étape 202 de recherche d'un prochain minimum local.

Si  $G < G_s$  pour la période examinée, celle-ci est considérée comme une période caractéristique et on passe à une étape 206 de détermination du prochain passage à zéro de l'amplitude du signal reçu qui constituera le passage à zéro situé entre le maximum local  $P_+$  et le minimum local  $P_-$  et sera donc le vrai point de départ des oscillations caractéristiques  $O_C$  du signal acoustique reçu.

Le même processus sera renouvelé quelques instants plus tard pour une nouvelle mesure de détermination du temps de propagation d'un signal acoustique ultrasonore.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure du temps de propagation d'un signal acoustique dans un écoulement de fluide entre un premier transducteur (1) jouant le rôle d'émetteur et un second transducteur (2) jouant le rôle de récepteur et situé à une distance déterminée du premier transducteur (1), le signal acoustique émis par le premier transducteur (1) étant constitué par au moins une impulsion  $S_1$  émise à une fréquence acoustique déterminée  $F_a$  et le signal acoustique reçu par le second transducteur (2) comprenant une série d'oscillations caractéristiques dont 5 l'amplitude est d'abord croissante sur plusieurs périodes, puis décroissante sur plusieurs périodes suivantes, l'enveloppe des oscillations caractéristiques présentant la forme d'un fuseau, le procédé consistant à échantillonner le signal acoustique reçu, à une fréquence d'échantillonnage  $F_e$ , à numériser le signal acoustique reçu échantillonné, et à rechercher, par analyse du signal acoustique 10 reçu échantillonné et numérisé, le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu, caractérisé en ce que, pour rechercher le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques 15 du signal acoustique reçu, on définit au préalable une première période caractéristique idéale déterminant le premier passage par zéro des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu, en caractérisant cette période idéale par 20 un rapport d'amplitude théorique entre les amplitudes  $P_i-$  et  $P_i+$  des deux lobes de cette période, on détermine pour chaque période du signal acoustique reçu échantillonné et numérisé, les amplitudes maximales  $P_-$  et  $P_+$  des deux lobes de la période examinée, on compare le rapport de ces amplitudes  $P_-$  et 25  $P_+$  au rapport d'amplitudes théorique correspondant de la période idéale puis, si le résultat de la comparaison est supérieur à une valeur de seuil  $G_s$ , on considère la période examinée comme une période parasite correspondant à du bruit tandis que, si le résultat de la comparaison est inférieur à cette valeur de seuil  $G_s$ , on considère la période examinée comme une période caractéristique et on détermine 30 alors le passage par zéro entre deux lobes de cette période caractéristique, lequel passage à zéro est considéré comme le premier passage à zéro significatif des oscillations caractéristiques du signal acoustique reçu.  
- 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport 35 d'amplitudes théorique  $\Delta$  entre les amplitudes maximales  $P_i-$  et  $P_i+$  des deux lobes de ladite période idéale est déterminé au préalable à partir d'une moyenne, pour plusieurs gaz différents et à différents débits, du rapport entre les amplitudes

maximales P- et P+ de la période caractéristique observée à partir de l'enregistrement de signaux acoustiques reçus.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la  
5 comparaison entre le rapport des amplitudes P- et P+ de la période examinée et le rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance G qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_s$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$10 \quad G = \left| \frac{(P-) - \Delta (P+)}{(P-)} \right|$$

4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la  
comparaison entre le rapport des amplitudes P- et P+ de la période examinée et le  
15 rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance G qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_s$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$20 \quad G = \left| \frac{(P-) - \Delta (P+)}{(P-) - z} \right|$$

où z représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance G légèrement dépendant de l'amplitude maximale P- du lobe négatif de la période caractéristique examinée.

25 5. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la comparaison entre le rapport des amplitudes P- et P+ de la période examinée et le rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  correspondant de la période idéale s'effectue en calculant un critère de ressemblance G qui constitue le résultat de la comparaison comparé à la valeur de seuil  $G_s$ , et qui est défini de la façon suivante :

$$30 \quad G = \left| \frac{(P-) - \Delta [(P+) - z']}{(P-) - z} \right|$$

35 où z représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance G légèrement dépendant de l'amplitude maximale P- du lobe négatif de la période caractéristique examinée, et z' représente un terme de décalage destiné à rendre le critère de ressemblance G légèrement dépendant de l'amplitude maximale P+ du lobe positif de la période caractéristique examinée.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que, pour déterminer avec plus de précision les amplitudes maximales P- et P+ des deux lobes de chaque période examinée, on utilise un algorithme d'approximation du maximum (en valeur absolue) à partir des points échantillonnés au voisinage de chaque maximum.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que, pour déterminer avec plus de précision les amplitudes maximales P- et P+ des deux lobes de chaque période examinée, on effectue plusieurs mesures successives respectivement sur plusieurs signaux acoustiques consécutifs en déphasant pour chaque signal acoustique le signal d'échantillonnage par rapport au signal acoustique considéré, afin d'obtenir après ces différentes mesures plusieurs points échantillonnés décalés au voisinage des amplitudes maximales.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, caractérisé en ce que l'on effectue, pour chaque période examinée, deux ou trois calculs du critère de ressemblance G avec des valeurs du rapport d'amplitudes théorique  $\Delta$  différentes voisines du rapport d'amplitudes théorique prédéterminé et ne s'écartant pas de celle-ci de plus de 10%, et en ce que l'on considère la période examinée comme une période caractéristique si le critère de ressemblance calculé G est dans tous les cas inférieur à la valeur de seuil  $G_S$ .

9. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que, pour déterminer la valeur de seuil  $G_S$  du critère de ressemblance G, ainsi que la valeur du terme de décalage z, on trace au préalable, pour différents gaz et différents débits, en faisant varier le déphasage entre la fréquence d'échantillonnage  $F_e$  et le signal acoustique reçu et en appliquant un facteur de gain variant entre 0,45 et 1,5, un réseau de premières courbes (111) représentant les valeurs maximums du critère de ressemblance G pour les périodes caractéristiques observées et un réseau de deuxièmes courbes (121) représentant les valeurs minimums du critère de ressemblance G pour les périodes parasites observées, en fonction de différentes valeurs possibles du terme de décalage z, et on choisit la valeur de seuil  $G_S$  et celle du terme de décalage z en fonction de la marge de sécurité possible dans la zone intermédiaire entre le réseau de premières courbes (111) et le réseau de deuxièmes courbes (121).

10. Procédé selon la revendication 4 ou 9, caractérisé en ce que la valeur de seuil  $G_S$  est comprise entre 0,7 et 1,7 et la valeur du terme de décalage z est comprise entre 0,21 et 0,25 V.

5        11. Procédé de mesure de la vitesse d'écoulement d'un fluide entre deux transducteurs disposés en des points de mesure espacés dans la direction d'un écoulement du fluide, selon lequel la valeur de la vitesse d'écoulement à mesurer est obtenue en combinant une mesure des temps de propagation respectifs de chacun des deux signaux acoustiques émis entre les deux points dans des sens 10 opposés par les transducteurs, avec une mesure des déphasages acoustiques respectivement induits dans chaque signal acoustique par la propagation de chacun desdits signaux acoustiques dans l'écoulement, caractérisé en ce que la mesure des temps de propagation respectifs de chacun des deux signaux acoustiques émis entre les deux points de mesure est effectuée selon le procédé 15 conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 10.

1 / 5

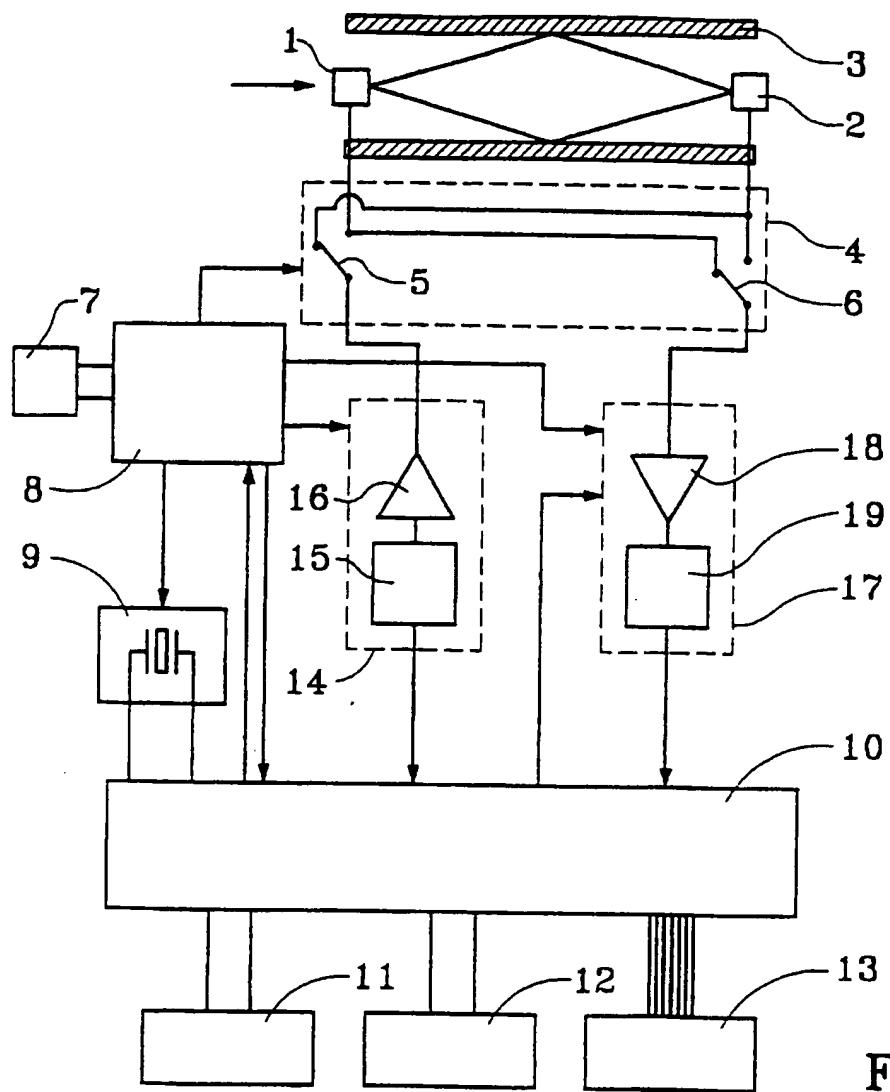


FIG. 1

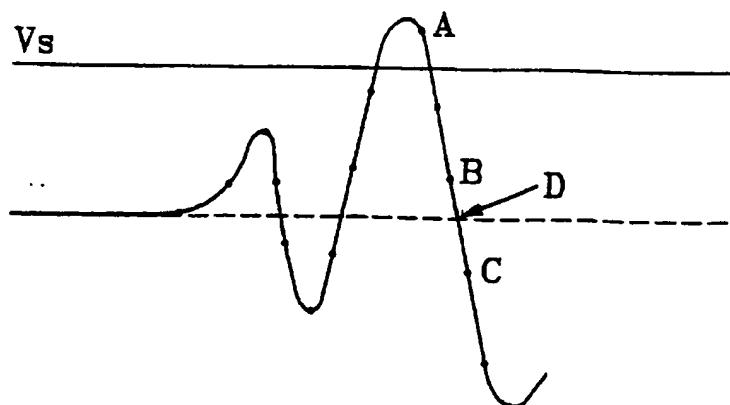


FIG. 3b

FEUILLE DE REMplacement (REGLE 26)

2/5

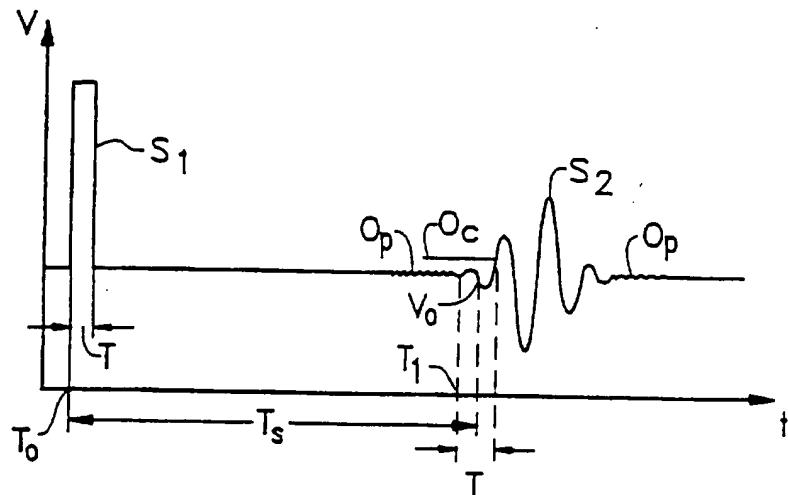


FIG.2

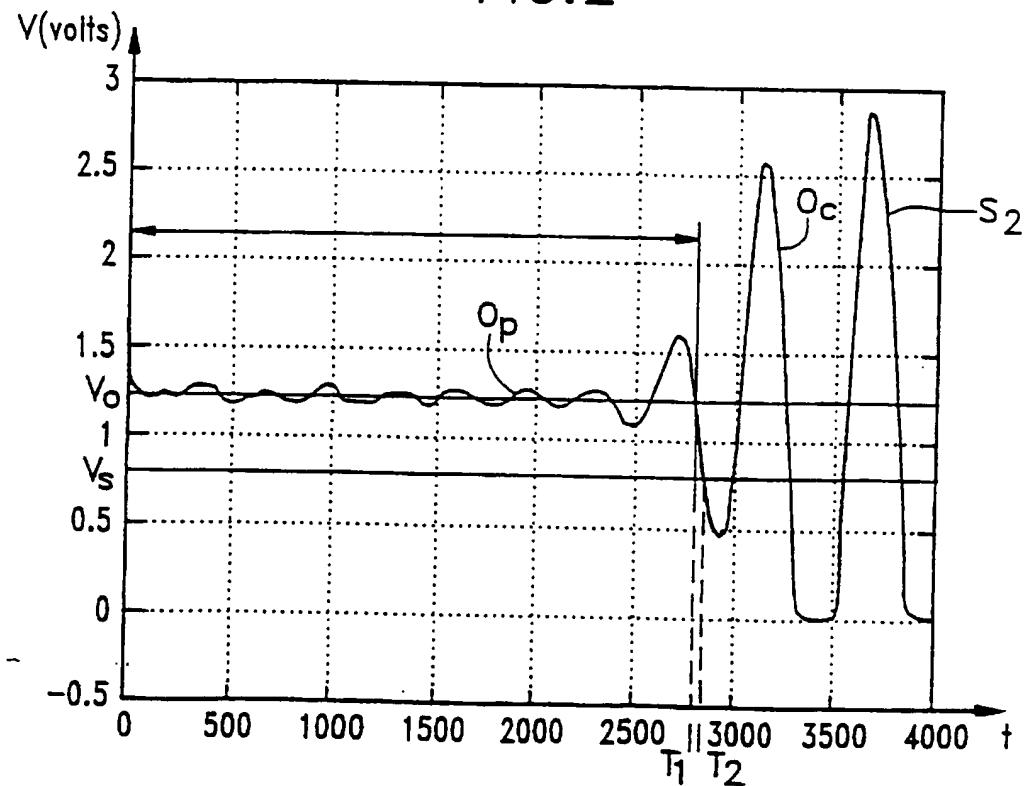
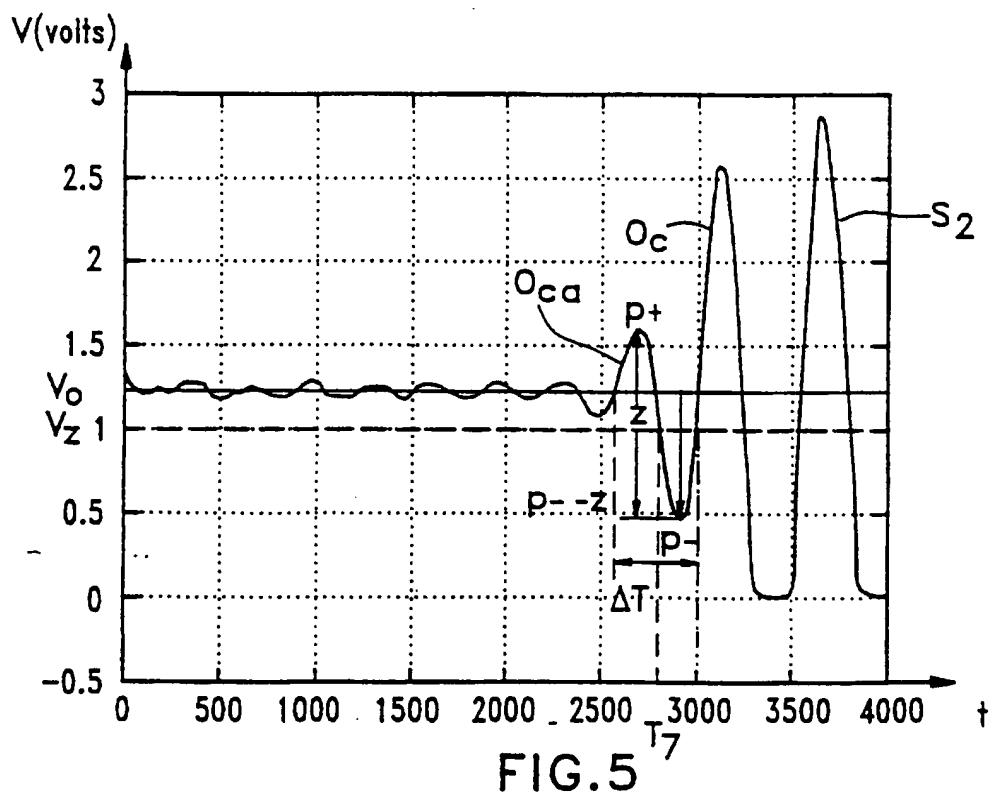
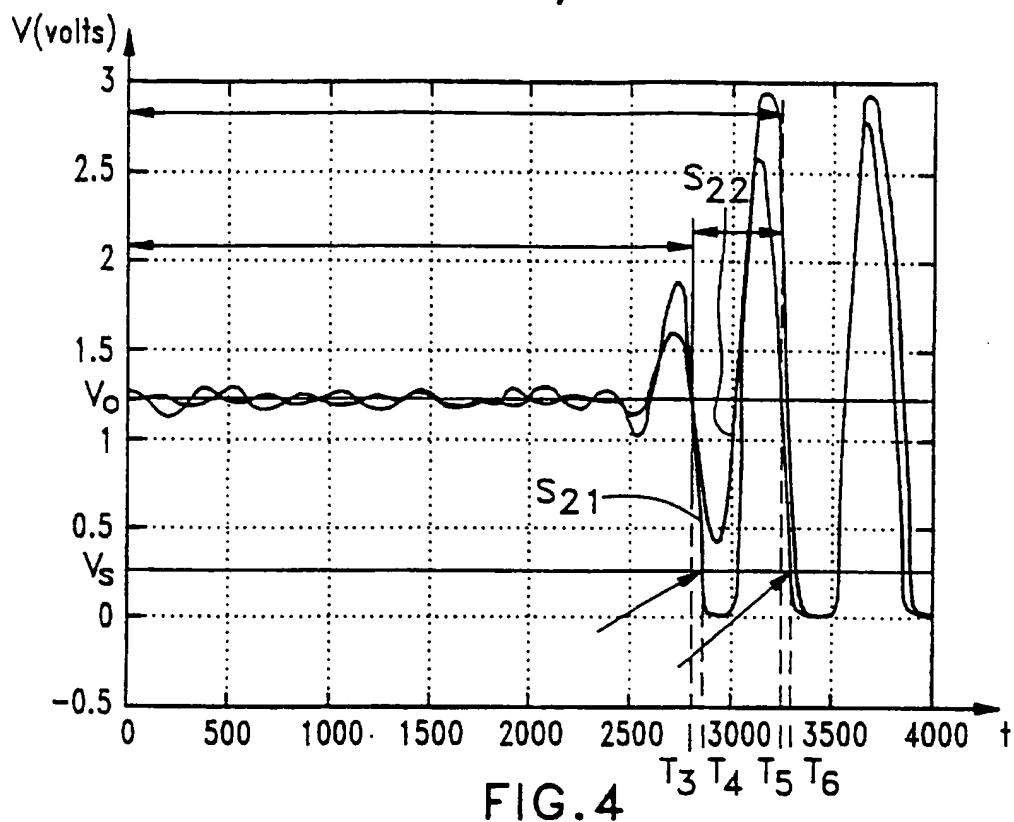


FIG.3a

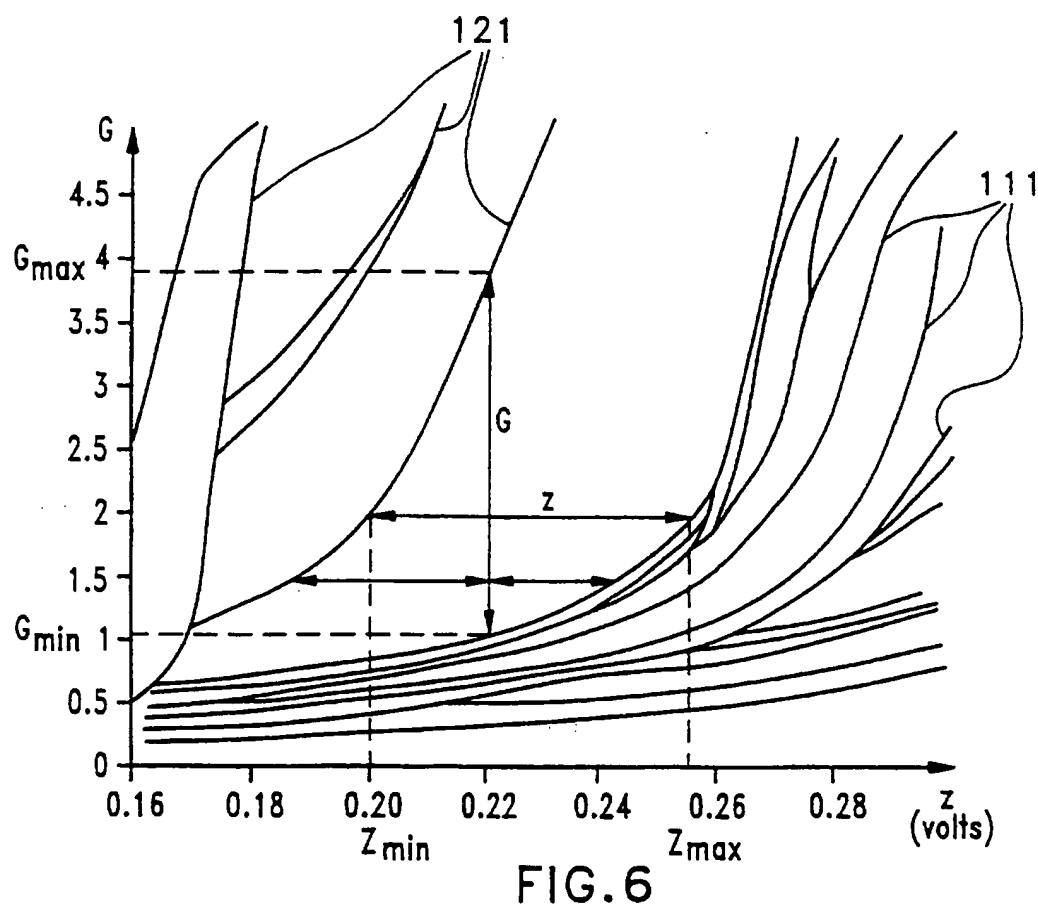
FEUILLE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

3/5



FEUILLE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

4/5



5 / 5

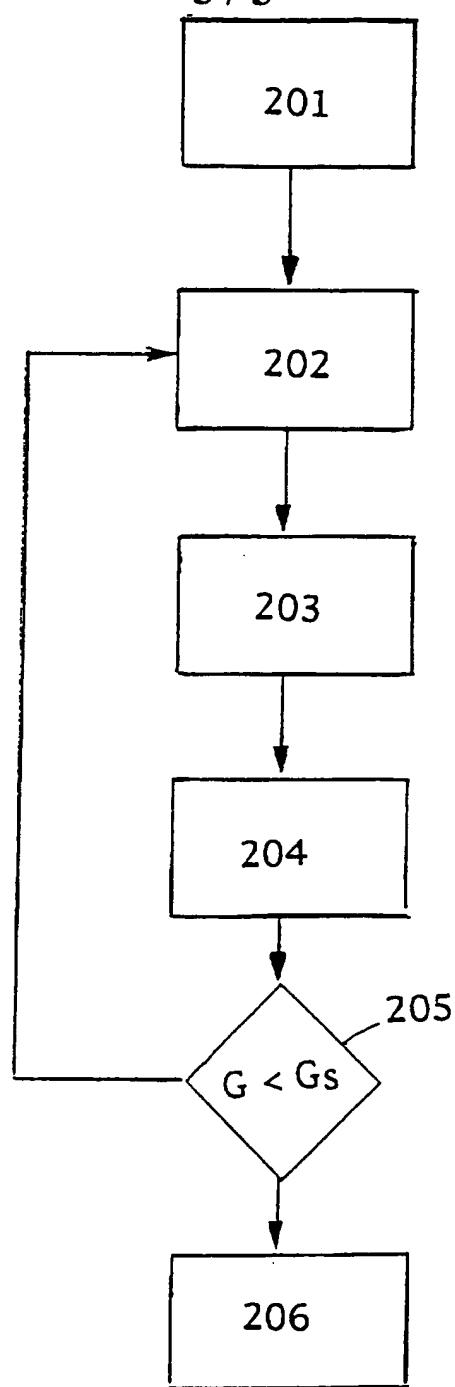


FIG 7.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat'l Application No  
PCT/FR 97/01012

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 G01F1/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 312 224 A (PANAMETRICS) 19 April 1989 see page 6, line 18 - line 48; figure 9B ---	1
A	EP 0 426 309 A (BRITISH GAS PLC) 8 May 1991 cited in the application see the whole document ---	1-11
A	US 5 012 449 A (TODD JOHN D) 30 April 1991 see column 5, line 8 - column 14, line 42; figures 1-6 ---	1
A	EP 0 100 584 A (AIRCO INC) 15 February 1984 see page 10, paragraph 1; figure 3 -----	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

1

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

16 September 1997

29.09.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Heinsius, R

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

Intern. Application No	
PCT/FR 97/01012	

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0312224 A	19-04-89	US 4787252 A DE 3879852 A JP 1193617 A JP 7078437 B	29-11-88 06-05-93 03-08-89 23-08-95
EP 0426309 A	08-05-91	GB 2237639 A AT 130934 T AU 620738 B AU 6475590 A AU 640538 B AU 8807991 A CA 2028011 A DE 69023884 D DE 69023884 T EP 0670477 A ES 2080125 T GB 2266373 A,B JP 8170926 A JP 3180767 A JP 7119638 B KR 9401143 B US 5178018 A	08-05-91 15-12-95 20-02-92 09-05-91 26-08-93 16-01-92 01-05-91 11-01-96 25-04-96 06-09-95 01-02-96 27-10-93 02-07-96 06-08-91 20-12-95 14-02-94 12-01-93
US 5012449 A	30-04-91	CA 2020271 A	31-12-90
EP 0100584 A	15-02-84	US 4452090 A AU 543396 B AU 1388083 A CA 1189948 A JP 59031411 A	05-06-84 18-04-85 24-11-83 02-07-85 20-02-84

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/FR 97/01012

## A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 6 G01F1/66

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 G01F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 312 224 A (PANAMETRICS) 19 avril 1989 voir page 6, ligne 18 - ligne 48; figure 9B ---	1
A	EP 0 426 309 A (BRITISH GAS PLC) 8 mai 1991 cité dans la demande voir le document en entier ---	1-11
A	US 5 012 449 A (TODD JOHN D) 30 avril 1991 voir colonne 5, ligne 8 - colonne 14, ligne 42; figures 1-6 ---	1
A	EP 0 100 584 A (AIRCO INC) 15 février 1984 voir page 10, alinéa 1; figure 3 -----	1



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (ville qu'il indique)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

1

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

16 septembre 1997

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

29.09.97

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Heinsius, R

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No  
PCT/FR 97/01012

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0312224 A	19-04-89	US 4787252 A DE 3879852 A JP 1193617 A JP 7078437 B	29-11-88 06-05-93 03-08-89 23-08-95
EP 0426309 A	08-05-91	GB 2237639 A AT 130934 T AU 620738 B AU 6475590 A AU 640538 B AU 8807991 A CA 2028011 A DE 69023884 D DE 69023884 T EP 0670477 A ES 2080125 T GB 2266373 A,B JP 8170926 A JP 3180767 A JP 7119638 B KR 9401143 B US 5178018 A	08-05-91 15-12-95 20-02-92 09-05-91 26-08-93 16-01-92 01-05-91 11-01-96 25-04-96 06-09-95 01-02-96 27-10-93 02-07-96 06-08-91 20-12-95 14-02-94 12-01-93
US 5012449 A	30-04-91	CA 2020271 A	31-12-90
EP 0100584 A	15-02-84	US 4452090 A AU 543396 B AU 1388083 A CA 1189948 A JP 59031411 A	05-06-84 18-04-85 24-11-83 02-07-85 20-02-84